

附件 2

巴中市哲学社会科学规划项目 结项申请书

立 项 编 号 BZ25YB073

项 目 类 别	一般项目
---------	------

项 目 名 称	巴中低空经济发展策略及关键技术研究
---------	-------------------

项目负责人 谢勃

所 在 单 位 电子科技大学成都学院

填表日期	2025年6
------	--------

巴中市社会科学界联合会 制

2025 年 3 月

声 明

本研究成果不存在知识产权争议；巴中市社会科学界联合会享有推广应用本成果的权力，但保留作者的署名权。特此声明。

成果是否涉及敏感问题或其他不宜公开出版的内容：是□ 否☒

成果是否涉密： 是□ 否☒

项目负责人（签字）

年 月 日

填 表 说 明

一、本表适用于巴中市社科年度规划项目、专项项目等结项申请。

二、认真如实填写表内栏目，凡选择性栏目请在选项上打“√”。课题申报信息无变更情况的可不填写《项目变更情况数据表》。

三、本《结项申请书》报送 2 份（A3 纸双面印制，中缝装订），并附最终成果打印稿（正文格式要求：主标题 2 号方正小标宋简体，其中一级标题 3 号方正黑体-GBK，二级标题 3 号方正楷体-GBK，三级标题 3 号方正仿宋-GBK 加粗，正文 3 号方正仿宋-GBK）。

四、所有结项材料须经所在单位审核并签署意见。县（区）申报者报送所在县（区）社科联审核后统一报送至市社科联，其他申报者可直接报送市社科联。

一、项目变更情况数据表

立项项目名称		巴中低空经济发展策略及关键技术研究									
结项成果名称		研究报告									
是否变更		B、否			变更的内容			无			
原计划成果形式		研究报告			现成果形式			研究报告			
原计划完成时间		2025 年 6 月 30 日			实际完成时间			2025 年 6 月 20 日			
项目负责人及参与人员变更情况											
原负责人	姓 名		性别	男	民族		出生日期				
	所在单位				行政职务		专业职务				
	通讯地址						联系电话				
现负责人	姓 名		性别		民族		出生日期				
	所在单位				行政职务		专业职务				
	通讯地址						联系电话				
原参与人员	姓 名	单 位			职 称		联系电话				
现参与人员	姓 名	单 位			职 称		联系电话				

二、申请人所在单位审核意见

（审核事项:1. 成果有无政治导向问题或其他不宜公开出版的内容；2. 最终结果的内容质量是否符合预期研究目标。）

1、成果无政治导向问题，无不宜公开出版的内容；2、最终结果的内容质量符合预期研究目标。

签 章

年 月 日

三、县（区）社科联意见

（审核事项:1. 成果有无意识形态问题；2. 是否同意结项。）

单位（公章）：

负责人签字：

年 月 日

四、专家鉴定意见

(请在对应意见栏划“√”)

1. 成果有无意识形态方面的问题： 有 ☐ 否 ☐

2. 是否同意结项：是 ☐ 否 ☐

3. 鉴定等级：优秀 ☐ 良好 ☐ 合格 ☐

主审专家签字：

年 月 日

五、市社科联审核意见

单位（公章）：

年 月 日

最 终 成 果

题 目 巴中低空经济发展策略及关键技术研究

立项编号 BZ25YB073

单 位 电子科技大学成都学院

项目负责人 谢 勃

完成日期 2025 年 6 月

摘 要

本研究报告系统分析了巴中市低空经济的发展现状、核心优势与挑战，并提出了针对性策略建议及技术解决方案。报告指出，巴中依托秦巴山区独特地形与政策红利，在低空经济领域已形成以无人机应用为核心、政策驱动为支撑的发展格局，尤其在山地应急救援、农业植保、低空旅游等场景中展现出区域特色。然而，人才短缺、产业链不完善及复杂地形适配技术瓶颈成为主要制约因素。

针对发展痛点，报告建议构建多维政策体系：一是推动空域管理改革，探索“分级分类+动态审批”模式；二是强化产业链协同，通过技术研发、飞手培训及数据共享机制补齐短板；三是深化场景创新，以山地任务需求为导向，加速无人机 AI 模型训练技术突破，例如通过虚实融合数据闭环提升模型在强风、密林等极端环境下的适应性。此外，报告强调“全国低空一张网”建设对区域互联互通的关键作用，并提出适配巴中地形的适航技术标准与本地化创新路径。

研究认为，巴中低空经济具备成为山地城市发展范式的潜力，其经验可为同类地区提供借鉴。未来，需进一步打通政策-技术-产业闭环，推动低空经济从“场景试点”向“规模经济”跃升，为区域经济高质量发展注入新动能。

关键词：巴中；低空经济；发展痛点；新动能

ABSTRACT

This research report systematically analyzes the development status, core advantages, and challenges of Bazhong's low-altitude economy, and proposes targeted strategic recommendations and technical solutions. The report points out that Bazhong, relying on the unique terrain of the Qinba Mountains and policy dividends, has formed a development pattern in the low-altitude economy sector with UAV applications as the core and policy-driven support, demonstrating regional characteristics in scenarios such as mountainous emergency rescue, agricultural plant protection, and low-altitude tourism. However, major constraints include talent shortages, an incomplete industrial chain, and technical bottlenecks in adapting to complex terrains.

In response to these development pain points, the report recommends constructing a multi-dimensional policy framework: first, promoting airspace management reform and exploring a "classification + dynamic approval" model; second, strengthening industrial chain collaboration through technological research and development, pilot training, and data-sharing mechanisms to address shortcomings; third, deepening scenario innovation, guided by the needs of mountainous missions, to accelerate breakthroughs in UAV AI model training technologies, such as enhancing model adaptability in extreme environments like strong winds and dense forests through a virtual-real fusion data loop. Additionally, the report emphasizes the critical role of building a "national low-altitude integrated network" for regional connectivity and proposes localized innovation paths and airworthiness technical standards tailored to Bazhong's terrain.

The study concludes that Bazhong's low-altitude economy has the

potential to serve as a developmental paradigm for mountainous cities, offering insights for similar regions. In the future, it is essential to further integrate the policy-technology-industry ecosystem, propelling the low-altitude economy from "scenario pilot" to "scale economy" and injecting new growth drivers into high-quality regional economic development.

Keywords: Bazhong; Low-altitude economy; Development pain points; New growth drivers

目 录

第 1 章 引言	6
1.1 调查背景	6
1.2 研究意义	6
1.3 研究内容与方法	7
第 2 章 巴中低空经济行业现状研究	8
2.1 全国低空经济发展概述	8
2.1.1 深圳市低空经济发展现状	12
2.1.2 四川省低空经济发展布局	15
2.2 巴中市低空经济发展现状	16
2.2.1 巴中低空经济发展优势	17
2.2.2 巴中低空经济发展劣势	19
第 3 章 巴中低空经济发展策略建议	22
3.1 立法保障	22
3.2 空域管理改革	25
3.3 “因地制宜”开辟低空经济应用场景	27
3.4 补足信号盲区，加强山区航路 5G 基站及中继站的建设	30
3.5 对本地企业无人机企业进行政策扶持	31
3.6 鼓励全国无人机飞手进入巴中地区服务	31
第 4 章 低空经济关键技术研究	34
4.1 “全国低空一张网”项目研究以及接入“全国低空一张网”系统 要求	34
4.2 山地任务无人机 AI 模型训练研究	37
第 5 章 研究总结	42
5.1 核心结论	42
5.2 研究局限与未来展望	42
第 6 章 参考文献	44

第 1 章 引言

1.1 调查背景

在全球新一轮科技革命和产业变革加速演进的背景下，低空经济作为新质生产力的重要载体，已成为推动区域经济高质量发展的战略新赛道。2024 年，“低空经济”首次被写入我国政府工作报告，标志着这一新兴产业正式上升为国家战略[1]。据测算，2025 年我国低空经济市场规模已达 5059.5 亿元，增速高达 33.8%，预计 2026 年将突破 1 万亿元，2035 年有望达到 3.5 万亿元，展现出巨大的发展潜力。

巴中市作为四川省低空经济协同发展地，地处秦巴山区腹地，90% 面积为山地丘陵，地形破碎且垂直高差显著。这种独特的地理条件既带来了传统交通建设成本高、效率低的挑战，也孕育了发展低空经济的特殊优势——年均适飞天数超 300 天的优质空域、无高层建筑群干扰的净空条件，以及农林牧渔、应急救援等刚需场景，使其成为川东北低空经济走廊的关键节点与全国山地低空技术创新的天然试验场。

1.2 研究意义

本研究对巴中市低空经济发展的系统分析，具有显著的理论价值与实践意义：

在理论层面，当前低空经济研究多聚焦于平原地区或发达城市，针对山区特别是革命老区的系统性研究相对匮乏。本研究通过剖析巴中“山地地形 + 低空经济”的特殊耦合关系，探索差异化的发展路径，有望丰富低空经济的区域发展理论，为类似地形区域提供参考范式。

在实践层面，巴中的探索对破解山区发展瓶颈、培育新质生产力具有示范效应。一方面，发展低空经济可突破秦巴山区“地无三尺平”的地理制约，通过无人机物流、低空旅游等场景，将山区运输成本降低 40% 以上，旅游收入提升 30%，直接带动乡村振兴；另一方面，依托山地适航技术标准的本地化创新，巴中有望形成可复制的“山区低空经济解决方案”，为全国 14 个集中连片特困地区的转型发展提供实践样本。

1.3 研究内容与方法

本研究对巴中本研究以巴中市低空经济发展为核心，重点探讨以下内容：

- **现状分析：**梳理全国及四川省低空经济发展格局，剖析巴中市在产业基础、政策支持、应用场景等方面的发展现状，明确其在区域经济中的定位；
- **优劣势评估：**基于实地调研与数据采集，分析巴中发展低空经济的净空优势、地形场景等独特条件，以及人才短缺、产业链不完善等现实挑战；
- **策略建议：**围绕“轻研发、重应用”的思路，从立法保障、空域管理、场景拓展、基建补强等维度，提出符合山区特色的发展策略；
- **关键技术：**聚焦山地任务无人机 AI 模型训练、“全国低空一张网”接入等技术难点，探索适配巴中地形的解决方案。

研究方法采用“文献分析 + 案例研究”的二元组合：

- 收集分析国家及四川省低空经济相关政策文件、行业报告，把握产业发展脉络。
- 选取深圳、成都等先进地区案例，提炼可借鉴经验。
- 重点调研巴中低空经济产业园、通用机场建设现场及典型应用场景，获取第一手资料。

第 2 章 巴中低空经济行业现状研究

2.1 全国低空经济发展概述

我国低空经济已进入快速培育阶段，产业环境持续优化，产业链基础良好，但也面临基础设施建设进展缓慢、关键核心技术薄弱、市场体系滞后、管理体系不完善等问题。2025 年，我国低空经济市场规模达到 5059.5 亿元，增速高达 33.8%，预计 2026 年将突破 1 万亿元，2035 年有望达到 3.5 万亿元[1]。

政策支持不断加强，2024 年国家层面首次将“低空经济”写入政府工作报告，并成立了低空经济发展司，2025 年政府工作报告将发展低空经济力度从“积极培育”转向“培育壮大”，明确其作为新质生产力的核心地位[1]。多地政府也纷纷出台支持政策，推动低空经济产业发展。目前全国已划设 19 个低空飞行服务示范区，3000 米以下空域逐步实现“分级分类”开放，无人机适航认证流程简化，审批时效缩短至 72 小时内。

低空经济应用场景不断拓展，包括物流配送、农业植保、应急救援、低空旅游等核心领域[2]。此外，城市直升机通勤、无人机配送、低空旅游等新兴应用场景也在不断发展。截至 2024 年 8 月底，我国无人机实名登记数达 198.7 万架，比 2023 年底增加 72 万架；共颁发无人机驾驶员执照 22 万本，比 2023 年底增加 13.9%。

一、为加速发展低空经济，全国 30 个省份出台专项政策为发展低空经济保驾护航。

为加速发展低空经济，全国 30 个省份密集出台专项政策，构建起覆盖立法保障、基础设施、产业扶持、场景拓展与安全监管的多维支撑体系。在立法层面，广东、浙江、四川等省份通过地方条例明确空域分类管理、适航认证流程与产业补贴机制（如深圳《低空经济产业促进条例》首创空域开放与适航补贴细则），中央层面则通过《通用航空装备创新应用实施方案（2024—2030 年）》提出万亿级市场目标。广东省设立 50 亿元产业基金，重点支持 eVTOL 研发与跨境物流；四川省对低空整机装备攻关项目给予最高 2000 万元补贴；舟山市对新开无人机物流航线按年度架次给予 10 万至 20 万元奖励。

二、全国低空经济发展格局初步形成：

东部领跑：东部地区（珠三角、长三角、京津冀）凭借政策创新、产业集聚和场景规模化应用，成为全国低空经济发展的核心引擎[2]。

珠三角：全球低空经济标杆（深圳为核心），深圳拥有超 1700 家低空经济相关企业，包括大疆（消费级无人机全球市占率 70%）、丰翼科技（物流无人机日飞

行量 1000 架次)、峰飞航空(eVTOL 跨海首飞)等头部企业。2024 年深圳低空经济产值超 900 亿元,占全国 30%以上,目标 2025 年突破 1500 亿元,形成“研发-制造-运营-数据”闭环,龙华区聚焦高端智造,坪山区建设全球最大无人机测试场(50 万 m²)。

长三角:技术转化与垂直产业链(上海、合肥、芜湖为核心)。上海张江千亿级低空经济产业集群聚焦研发,常州碳纤维材料、芜湖 10 万架物流无人机产能支撑制造端,芜湖集聚近 200 家产业链企业,整机核心部件自主配套率 100%,中电科钻石飞机国内市场占有率 70%。美团无人机在长三角开通 53 条航线,累计完成 40 万单配送(如上海外滩至苏州园区),苏州规划 600 米以下空域授权管理,开通 eVTOL 观光航线(如黄山景区 VR 全景游览),芜湖年均飞行 2 万架次,覆盖消防、救援、低空旅游(陶辛镇飞行营地月体验 3000 人次)[2]。

京津冀:研发高地与标准输出(北京为核心)。北京拥有 23 家上市企业、33 家“专精特新”小巨人,年申请低空经济专利 1.4 万件(全国第一),亿航 EH216-S 获全球首张无人驾驶载人航空器生产许可证,技术输出至阿联酋(订单 100 架),北京八达岭长城开通无人机咖啡配送(5 分钟送达),上海-昆山直升机通勤(25 分钟),广汽埃安“灯塔工厂”实现 eVTOL 核心部件 30 分钟供应链响应,推动智能制造升级,发改委低空经济发展司挂牌,推动空域军民协同管理,试点“智能低空天网”建设。

中西部提速:特色场景与政策承接。

《通用航空装备创新应用实施方案(2024-2030 年)》明确将成渝、陕西等中西部地区列为低空经济重点发展区域,提出构建“垂直深耕”的产业格局。中央空管委在合肥、杭州、深圳、苏州、成都、重庆等六城启动 eVTOL 试点,中西部核心城市首次纳入国家级低空经济创新网络。

在地方政策方面:四川省出台《四川省低空空域管理改革试点方案》,划设川北、川南等五大低空飞行服务区,简化审批流程,实现“即报即飞”;贵州省在 2024 年政府工作报告中提出“加快航空动力领域国家实验室贵州创新中心建设”,目标航空航天及装备制造业增加值增长 8%;新疆省计划到 2035 年建成 98 个 A2 级以上通用机场,形成覆盖全疆的低空网络,并成立新疆航空产业研究院推动低空经济规划落地。

在特色场景应用方面:贵州省依托黄果树瀑布、荔波小七孔等景区,开发直升机、热气球低空游览项目,2024 年低空旅游人次同比增长 60%;甘肃敦煌规划“沙漠低空旅游航线”,利用无人机进行戈壁探险直播,结合《又见敦煌》演艺打造沉浸式文旅体验;四川九寨沟、甘孜等地质灾害频发区部署无人机应急救援队,实现灾情侦察、物资投送“1 小时响应”[2]。重庆市利用低空网络监测长江水域污染,无人机搭载多光谱传感器实时回传水质数据,效率提升 3 倍。新疆阿克苏试点“无人机+低空物流”,将偏远村落医疗物资配送时间从 4 小时缩短至 30 分钟。

值得一提的是“川渝氢能走廊项目”,该项目致力于联合研发氢燃料 eVTOL,目前已在山地场景测试续航里程达 500 公里,且该项目获中央财政专项补贴。

东方电气等领军企业已在氢能“制、储、运、加、用”全产业链上展开布局,并成功开发出高性能的燃料电池堆和动力系统,这些技术同样适用于无人机及全系车型。此外,东方氢能产业园正积极聚合产业链上下游企业,共同推动氢能技

术的迭代升级和成本降低。例如，燃料电池系统成本已从 2018 年的 2 万元/kW 大幅下降至目前的 3000 元/kW 以下，重要零部件成本也降低了 30%以上。尽管目前关于氢燃料 eVTOL 的具体研发细节公开信息有限，但可以推测，川渝地区正依托其强大的氢能产业基础和技术研发实力，联合推进氢燃料 eVTOL 的研发工作，并计划在山地等复杂场景下进行实地测试，以验证其性能和可靠性。

三、低空经济产业链分级日趋明显：

①上游链：提供低空经济装备的底层技术支撑与核心组件，决定产业创新高度。上游头部企业的代表有：

电池企业：

宁德时代：与峰飞航空签署战略投资与合作协议，研发电动垂直起降航空器航空电池，提升 eVTOL 电池的能量密度和性能表现。

鹏辉能源：推出针对低空经济低空场景飞行器的电池解决方案——Sky 电池，质量能量密度突破 400Wh/kg。

电机企业：

卧龙电驱：生产用于低空飞行器的电机，具有高效、可靠的特点，与中国商飞合作开展电动航空技术研究与产业化应用。

蓝海华腾：核心产品为航空电机与电调系统，技术优势包括高转速永磁电机（20000rpm）量产良率 95%，适配多旋翼 eVTOL 的分布式电驱方案。

复合材料企业：

中复神鹰：专注于碳纤维及复合材料研发生产，产品具有高强度、高模量、轻量化等特性，用于制造低空飞行器的机身结构、机翼、螺旋桨等部件。

光威复材：在碳纤维复合材料领域具有技术优势，产品应用于低空飞行器的制造。

飞控系统企业：

星网宇达：在惯性导航、卫星通信等领域有深厚技术积累，产品精度高、稳定性好，能为低空飞行器提供精确的导航、定位和姿态控制。

导航系统企业：

中国移动上海产业研究院（中移上研）：打造基于 5G+北斗高精度导航网，为低空经济提供高精度定位、低空管理授时、三维地图等导航网引擎能力。

通信系统企业：

中兴通讯：探索 5G-A 技术在低空经济中的应用，实现通感一体化，提升低空通信和感知能力。

②中游链：整合上游技术形成整机产品，构建低空经济运行的物理与数字基础设施。

整机制造企业：

亿航智能：作为全球领先的无人驾驶电动垂直起降航空器（eVTOL）创新企业，亿航智能专注于 eVTOL 的研发、生产和销售。其 EH216-S 型号是全球首款获得型号合格证和标准适航证的 eVTOL，采用多旋翼设计，具备垂直起降和自动驾驶功能，可广泛应用于城市空中交通、旅游观光等领域。

大疆：全球消费级无人机领域的龙头企业，占据全球市场份额 70%以上。其产品在农业植保、航拍摄影等多个场景广泛应用，推动了无人机技术的普及和发

展。

峰飞航空：在 eVTOL 领域技术领先，其“盛世龙”eVTOL 采用六旋翼分布式电推进系统，单发故障仍可安全降落，提升了飞行的安全性。同时，峰飞航空还积极拓展国际市场，产品已进入多个国家。

沃飞长空：专注于电动垂直起降飞行器（eVTOL）的研发，其 AE200 型号采用先进的复合材料和电动推进技术，具有高效、环保、低噪音等特点，适用于城市空中交通和短途物流等场景。

基础设施构建企业：

中国铁塔：依托其遍布全国的基站资源，中国铁塔积极参与低空经济基础设施建设。通过改造现有基站或新建专用设施，为低空飞行器提供通信、导航、监视等支持服务，助力构建低空互联网[3]。

深城交：致力于低空经济基础设施建设与运营服务，提供包括通用机场、无人机起降场在内的物理基础设施规划、设计与建设服务。同时，还开发低空飞行服务系统，实现飞行计划申报、空域管理、气象服务等功能[3]。

威海广泰：提供低空配套物理设施中的起降枢纽服务，其产品包括机场地面设备等，为低空飞行器的起降提供保障。

中科星图、海格通信、北斗星通：提供低空导航和监视服务，利用卫星导航技术为低空飞行器提供精确的定位和导航信息，保障飞行安全。

③下游链：将低空经济装备转化为具体服务，覆盖民生、产业、公共管理等领域。

物流配送领域：

丰翼科技：隶属于顺丰集团，正在打造“1+N 商业模式”，即一张低空物流网+N 种服务。截至 2024 年 6 月底，丰翼科技累计在全国开通 448 条无人机航线，飞行近百万架次，飞行总里程近 500 万公里。其无人机已覆盖平原、高原、山地、雪域和海岛等全地形，在快递配送、应急救援、医疗运输、生鲜冷链等场景实现常态化规模化运行。

中通无人机：中通快递旗下的无人机物流运营企业，主要提供物流配送服务。

美团无人机：美团旗下的无人机配送企业，主要提供餐饮配送服务。

京东物流无人机：京东依托无人机配送与自动化仓储，推动低空物流规模化落地。

农业植保领域：

大疆农业：大疆创新旗下的农业无人机业务，提供农业植保解决方案[4]。

慧飞无人机：专注于农业植保服务，是国内领先的农业无人机服务企业。

极飞科技：专注于农业无人机技术的研发与应用，其产品具备精准喷洒、智能规划等功能，可广泛应用于农田植保、播种、施肥等作业环节，提高了农业生产的效率和效益。

低空旅游领域：

天际旅游开发有限公司：结合低空飞行与旅游，打造独特旅游项目。

祥云通航：专注于低空旅游观光服务，其运营的祥云 AS700 载人飞艇在桂林、三亚等地开展低空旅游业务，为游客提供独特的空中视角，欣赏美丽的自然风光和城市景观，客单价达 2000 元，受到游客的广泛好评。

应急救援领域：

亿航智能：其 EH216-S 无人驾驶载人航空器系统完成中国民航局最终的型号合格审定试飞，并获得型号合格证。在应急救援方面，可快速响应灾害现场，执行人员物资运输、灾情侦察等任务[3]。

湖南翔为通用航空有限公司：多次参与森林灭火、自然灾害应急救援、生命援救、空中指挥等紧急任务，还与多所高校、科研机构合作研发高压水炮等航空应急装备。

巡飞检测领域：

航天宏图：航天宏图利用无人机搭载传感器进行环境监测，如空气质量、水质监测等，为环保部门提供实时、准确的环境数据，助力生态保护和环境治理。

特金股份：特金股份专注于低空安全领域，其 TDOA 无人机监测定位系统采用 TDOA 时差定位技术，可对无人机进行精准定位和追踪，为城市管理、重大活动安保等提供低空安全保障。

2.1.1 深圳市低空经济发展现状

深圳市作为全球低空经济的创新标杆与产业化先锋，已形成“政策突破 + 技术引领 + 场景落地 + 生态协同”的全链条发展格局，正从“无人机之都”向“天空之城”加速跃迁。研究低空经济的发展之路就需要研究“深圳模式”，从其中学习经验。

深圳低空经济的发展状态可以概括为下几个特点。

一、产业规模居全球主导地位。

2024 年深圳低空经济年产值突破 900 亿元，无人机载货飞行 77.6 万架次，开通 250 条航线，直升机电人飞行 2.8 万架次，形成“研发-制造-应用-服务”全链条闭环[4]。产业链企业超 1700 家，包括大疆创新（消费级无人机全球市占率 70%）、道通智能（工业级无人机全球市占率 50%）、丰翼科技（物流无人机）、美团无人机（即时配送）等龙头企业，以及东部通航、中信海直等运营企业。

深圳的低空经济产业的空间集聚效应明显：南山区作为核心区，集聚大疆、道通等企业，2024 年产值超 550 亿元；宝安区依托粤港澳大湾区交通枢纽优势，打造全国低空物流配送试点标杆，产业链企业数量居首；龙岗区形成“一区一场一园”格局，大运无人机产业园吸引 6 家标杆企业入驻。

二、政策创新力度巨大引领本地低空经济高速发展。

深圳市通过“顶层立法+区域试点+全链支持”的政策矩阵，构建了全球领先的低空经济生态体系。2024年1月3日实施的《深圳经济特区低空经济产业促进条例》首次以法律形式明确低空经济定义，覆盖航空器研发、生产、销售及低空飞行活动全链条[5]。同年11月出台的《深圳市低空基础设施高质量建设方案（2024-2026年）》进一步细化起降设施、通信基站、科技基础设施等建设目标，形成“设施网、空联网、航路网、服务网”四网融合架构。

市级政策与区级配套协同发力：宝安区、南山区、福田区等通过资金补贴、技术研发奖励、低空经济产业园建设等措施，形成差异化发展格局。例如，光明区依托80%适飞空域和鹏城云脑等算力基础设施，打造低空经济创新应用试验田；龙岗区以大运无人机产业园为核心，形成原材料供应、设计研发、飞手培训的完整生态链。

三、基础设施与支撑、管理体系加速完善。

已建成483个起降点（含直升机场、无人机测试场），5G基站8万个，实现120米以下空域5G网络连续覆盖[5]。规划到2025年建成1000个以上起降点，构建层次分明的低空起降服务体系。深圳电信已为本地升级2.3万5G-A基站，覆盖福田、南山、宝安等主要区域，网络覆盖超1000万人口。

深圳低空运行管理中心启用整合低空飞行服务保障功能，推动“一窗口申请、一站式审批、一网统管”。试点空域分类分级管理，简化飞行审批流程，提高适航审定效率[5]。

更重要的是，深圳市域智能融合低空系统（简称：SILAS）系统将于2024年11月下旬发布1.0版本。SILAS也被称为深圳城市“低空大脑”，现已全面接入深圳全市域时空信息平台（CIM），能够快速、无缝地接入城市核心数据，实时获取涵盖建筑物模型、市政设施、行政区划等城市信息，并支持低空飞行活动的精细化管理。

四、应用场景商业化道路充满创新与想象空间。

深圳市的低空物流居全国规模第一。

美团无人机开通23条航线，日均配送超3000单，公园景区订单增长300%；深业上城至中心公园航线实现“10分钟达”，配送商品超千种。丰翼科技在东西涌景区推出无人机索降投送服务，游客扫码下单后10分钟送达物资；2024

年累计开通物流航线 250 条（含 5 条跨城航线），载货飞行量 77.6 万架次（同比+27%）[6]。

载人交通：eVTOL 与直升机商业化道路持续得到验证。

峰飞航空完成深圳蛇口至珠海九洲港 20 分钟跨城飞行，验证载人运输可行性；德国 Lilium、亿航等头部企业落户深圳开展试运营。东部通航上线国内首个低空出行平台，开通“机场-CBD”、深港跨境等航线；2024 年直升机载人飞行 2.8 万架次（同比+21%），覆盖粤港澳 90%区域。

无人机巡检常态化。

深圳供电局部署 101 台无人机机巢，覆盖龙岗、坪山等 6 个区域，2024 年累计巡视线路 18455 公里，发现并处理问题 286 处，节约企业用电成本超 10 万元。大疆 Livox 激光雷达巡检：应用于城市桥梁、隧道等场景，通过三维建模与 AI 分析识别结构损伤，数据直接接入“深穹”智能管控平台，支撑城市基础设施全生命周期管理[6]。

应急与医疗物资配送。

深圳部署了 36 套无人机应急救援平台，打造了 15 分钟航空应急救援圈。在自然灾害和突发事件中，无人机广泛用于物资投送和灾情侦察。深圳的医疗机构利用无人机进行检测样本和医疗物资的运输，提升了医疗物资的应急保障能力。低空运输比车辆运输节省了 20 分钟。将深圳市血液中心的 10 个单位的去白悬浮红细胞通过无人机运往医院，仅用 9 分钟就完成了原本至少需要一个小时的运输任务。

五、无人机技术研发与标准引领全国。

深圳产业链完备度全球领先，集聚无人机企业超 1700 家（2023 年数据），涵盖研发设计、核心部件制造、整机组装、运营服务全链条，形成“半小时供应链”生态。例如，深圳峰飞航空完成全球首条 eVTOL 跨湾载人飞行（深圳-珠海），验证 250 公里长航时技术。深圳大疆在消费级无人机全球市占率 70%，飞控与视觉导航技术国际领先，深圳丰翼科技的物流无人机日飞行量超 1000 架次，攻克复杂环境避障算法[7]。

深圳的无人机制造企业参与多个国际、国内低空经济系统标准的指定。比如主导编制国际标准 ISO 15964《无人机感知与避障系统》，填补全球空白；

参与《无人驾驶 eVTOL 安全要求》《民用轻小型多旋翼无人机机巢系统试验方法》《无人机自主飞行控制等级划分》标准和规则的制定。在全国率先发布《深圳市低空经济标准体系建设指南 1.0》并在全中国率先组建首个城市级低空经济标准化技术委员会[8]。

综上所述，深圳市低空经济在政策驱动、产业集聚、技术创新与应用场景拓展的共同推动下，已形成全球领先的产业生态，正从“试验田”迈向“规模化”爆发期，剑指全球低空经济“第一城”[7]。

2.1.2 四川省低空经济发展布局

四川省低空经济发展态势强劲，政策支持有力，产业基础雄厚，基础设施建设加速推进，技术突破与产业集群成效显著，应用场景不断拓展，空域改革与安全管理创新。四川已汇聚 200 多家低空装备制造企业、69 家通航企业、1419 家无人机运营企业，通航有人机保有量全国第一[9]。2025 年 5 月，四川出台《支持低空经济发展的若干政策措施》，每年统筹安排 3 亿元省级资金支持低空经济发展。四川已建成 19 个通用机场，数量居西南第一，德阳什邡通用机场等项目正加速推进。成都、绵阳、自贡形成 3 个无人机战略性新兴产业集群。四川在应急救援、工业与城市治理等方面广泛应用无人机。

四川省通用航空产业发展规划作为发展四川省低空经济的纲领性规划，以“**一核两翼、多点支撑**”为空间布局，通过省级政策到市级政策引领为低空经济场景驱动以及省各区域协同作战的方式，构建包括研发制造、基础设施、运营服务及创新生态的四川省低空经济全产业链体系[8]。

何为“一核两翼、多点 N 网”？

一核：强化成都通用航空产业发展核心。

在成都地区重点发展大中型通用航空飞机、工业级无人机和航空发动机研发制造等高端领域。成都作为西部首个国家级临空经济示范区，已出台《推进无人机产业高质量发展实施方案》，并设立 50 亿元专项基金支持关键技术攻关。截至 2024 年第一季度，成都低空经济相关企业达 237 家，覆盖研发制造、运营服务、数据平台全链条，2023 年产业规模突破 120 亿元，同比增长 35%，其中无人机整机制造占比超 40%[10]。

北翼：环成都经济圈。

以**德阳、绵阳**为重点，发展通用航空零部件研发制造、教育培训、航展赛事等。德阳什邡通用机场已于 2024 年 11 月 29 日开工建设，预计 2026 年投运，将成为“北翼”的重要支撑点。德阳地区广汉民航飞行学校作为中国民航飞行员的摇篮，在“一核两翼、多点支撑”布局中可谓相关人才输出的核心，不仅为成都“一核”提供飞行技术、航空管理等专业人才支，同时也助力德阳“北翼”通航产业研发制造。

南翼：川南经济区。

以**自贡、泸州、宜宾**为重点，发展通用航空零部件、航空运动飞行器、航空新材料等。自贡凤鸣机场已纳入四川省低空改革试点，划设全省面积最大、高度最高的“川协 5 号”协同空域。在物流与场景应用方面：泸州、宜宾更是依托长江经济带布局低空物流枢纽，规划开通至重庆、贵州的跨省货运航线；自贡试点无人机货运物流、应急救援及低空观光，与重庆共建跨省载人航线。

多点 N 网：

“**多点**”指分布于五大经济区的通用航空小镇、产业园区及场景应用示范区，通过聚焦细分领域形成特色优势；“**N 网**”代表多层次、多维度的低空经济网络体系，通过物理基建、数字治理与场景应用的深度融合，支撑产业生态高效运转。

很明显，巴中市在四川省低空经济“一核两翼、多点 N 网”布局中，属于“多点 N 网”中的战略支点与新兴增长极。具体而言，巴中未被纳入“一核”（成都平原经济区）或“两翼”（川南自贡-泸州-宜宾为南翼，环成都德阳-绵阳为北翼）的核心产业集聚区，但其凭借独特的区位、空域及低空应用场景，在“多点 N 网”体系中扮演重要角色。

2.2 巴中市低空经济发展现状

政策支持与定位方面，四川省政府将巴中市纳入全省低空经济协同发展地，巴中市迅速成立低空经济发展工作专班，致力于打造“立足巴中、辐射四川、联通西南”的低空经济圈，并积极创建低空数字经济示范市。南江通用机场即将开工，通江、平昌通用机场也已纳入四川省通用机场布局规划。产业发展方面，以纵横无人机生产基地、中科华航为基础，巴中市正积极发展低空经济基础设施建设、特色场景设置和低空企业招引等，多家企业已表达合作意愿。应用场景拓展方面，光雾山、天池部落等景区已开展上百架次旅游观光飞行，低空旅游成为巴

中抢占低空经济赛道的重要抓手[11]。此外，巴中还在生态巡河、智慧巡城、耕地守护、物流运输、空中转运等政务服务领域广泛应用低空经济。产业集聚方面，巴中市已吸引一批高新技术企业，如铭诚微芯片、泰美克科技等，形成“研发—制造—测试—应用”全产业链。

笔者查阅相关资料和新闻报道对巴中市在低空经济发展中已经取得阶段性成果进行了如下总结：

一、基础设施建设加速推进中。

南江通用机场选址已获军方批复并即将开工。通江、平昌通用机场也被纳入四川省通用机场布局规划。

二、低空经济产业园建设推进中。

2024年12月4日，巴中低空经济产业园项目已开工，一期投资4亿元，占地130亩，建成后将为低空飞行器制造企业、低空经济专业培训和各类大型赛事提供重要平台。

三、企业发展与招引成效显著。

巴中涌现出铭诚微芯片、泰美克科技等高新技术企业。2025年5月8日，巴中市低空经济产业发展有限公司完成工商登记注册，作为全市唯一低空经济产业的市场化运营公司。

四、应用场景稳步拓展

光雾山、天池部落等景区已开展上百架次旅游观光飞行，低空旅游逐渐成为巴中抢占低空经济赛道的重要领域。

使用无人机巡检流程已经广泛应用于电力、交通、环保、河道巡检等多个领域。

五、成立了巴中低空经济发展工作专班并出台一系列相关政策。

2024年6月，巴中市成立了低空经济发展工作专班编制了《巴中市低空经济发展实施方案》提出打造“立足巴中、辐射四川、联通西南”的低空经济圈方案，同年12月巴中又出台《巴中市低空经济产业园建设项目方案设计》贯彻落实巴中市委五届八次、九次全会精神，聚焦先进制造引领发展低空经济。

2.2.1 巴中市低空经济发展优势

巴中地区发展低空经济相对其他地区优势是明显的，可以概括为“优质地空、应用丰富”。

优质地空指的是优质的地理和天空优势，其具体表现为：

一、净空与气候优势。巴中地处秦巴山区，城市建筑密度低，无高层建筑群干扰，空域障碍物少，飞行视野开阔。据专家评估，其目视飞行条件在全省首屈一指，尤其适合 300 米以下低空飞行器的起降与航线规划。法国欧洲科学院院士杨金才指出：“巴中适飞空域容量大、飞行可用高度高，是发展低空经济的理想空间。”这一优势在山区城市中尤为罕见。

低空冲突风险小。相比平原城市密集的电磁干扰和航空管制，巴中空域军民航飞行活动频次较低，空域协调复杂度小，为物流无人机、观光直升机等提供了灵活的飞行窗口。

年均适飞超 300 天。巴中属亚热带湿润气候，年均降雨日少、云雾覆盖率低，晴好天气占比高。数据显示，其年均适飞天数超过 300 天，远超全国多数地区，极大提升了飞行器可利用率和商业化运营连续性。气象灾害影响弱，秦巴山区屏蔽了部分强对流天气，大风、雷暴等极端天气频率显著低于盆地地区，减少了飞行计划取消率，保障了应急救援、物流配送等时效性场景的可靠性。例如，光雾山景区在红叶节期间连续开展低空观光飞行 205 架次，无一起因气候中断的案例。

二、地理地形优势。巴中山区的垂直落差催生刚需场景，山区传统运输成本比平原高 40%，无人机配送（如四川邮政）时效提升 400%，破解“最后一公里”难题应急救援不可替代：陡坡地形人力难及。尤其是将低空技术运用在山区农林牧业场景，其创新空间是巨大的[12]。

另外，对于研究无人机山区导航及避障技术看，巴中地区复杂山地与河流地貌（如光雾山峡谷、诺水河）为无人机山地物流、应急救援等场景提供天然试验场，尤其适合验证工业无人机在复杂环境下的导航与避障能力，成都纵横无人机公司选择在巴中部署无人值守系统，正是看中其对山地适应性的测试价值。这种环境尤其适合验证物流无人机在山区“最后一公里”配送的稳定性。

假设无人机飞控系统在此类复杂地形中进行的飞行控制算法、避障系统的训练与迭代，一旦获得实用成果，巴中即可反向输出至全国山地低空经济场景，形成巴中的技术标准话语权。

2.2.2 巴中市低空经济发展劣势

巴中市相对其他经济发达城市（深圳、成都）或成渝双城经济区链路城市（资阳、内江、遂宁），在发展低空经济上缺乏优势或者叫做劣势，这些劣势可以概括如下：

一、低空经济人才相对缺乏。

专业飞手数量不足：2025年6月，巴中首批19名无人机操控员通过CAAC执照考试（通过率100%），但对比全国无人机操控员百万级缺口8，本地飞手规模远未满足需求。

高端技术研发人才稀缺：巴中低空经济产业园需飞行器设计、导航算法等专业人才，但本地无航空航天院校，高端人才依赖外部引进。2023年柔性引进“高精尖缺”专家仅28名，其中低空经济相关人才更少。纵横股份等企业需从成都、深圳调配技术骨干，本地化团队建设滞后。

运营管理类人才缺口明显：市国资委、文旅集团等公开招聘“低空经济运营专员”，要求具备3年以上项目运营经验，但符合条件的本地人才极少，需从一线城市回流或高薪引进。

巴中低空经济人才短缺是结构性原因，不是短期内能解决的问题。因为巴中整体工业产业基础薄弱导致人才吸引力不足，且薪资竞争力弱：本地企业技术岗位年薪约7-16万元，仅为深圳同类岗位的1/3。再加上巴中低空经济培育体系尚未成熟（全国也如此），虽有巴中纵横飞行服务公司开展培训，但年培训量仅百人级，职业院校未开设低空经济专项课程，产学研转化平台不足（仅建成6个校地企合作平台）。高校毕业生外流率高：2023年引进的642名高层次人才中，35%因发展空间有限流向成渝地区。

二、低空航空器研发、制造产业链不完善。

目前已入驻巴中的成都纵横无人机科技有限公司属于低空经济中游企业，主导工业无人机生产制造，重点布局“低空无人机物联网”系统。就光从数量来说，入驻巴中的低空航空器制造企业的数量是非常稀少的，再则入驻巴中的无人机上游产业链企业（原材料供应、核心零部件制造等）几乎没有。

巴中缺乏对低空航空器制造企业特别是掌握了核心科技的企业吸引力，其原因和巴中缺乏对低空经济人才的吸引力一个道理：**地域+经济结构性原因**，

巴中想要完善低空经济产业链，特别是建立航空器研发制造端，是一个长期任务。

三、截止目前没有通用机场。

巴中市目前有南江通用机场处于建设规划中，平昌通用机场处于选址征求意见阶段。巴中市的空运依赖恩阳机场，巴中恩阳机场本期工程按满足 2025 年旅客吞吐量 90 万人次、货邮吞吐量 3000 吨目标设计，飞行区指标 4C。机场建设有 1 条长 2600 米、宽 45 米的跑道，目前巴中的所有低空飞行器起降都集中在恩阳机场完成，而恩阳机场并非通用机场属于民航机场，这可能会导致恩阳机场低空空域管理任务变得复杂，对民航飞行器的起降安全性造型一定潜在隐患。

并且巴中长期没有专门的通用机场可能会导致：

低空旅游受限：目前，巴中光雾山、天池部落等景区已开展旅游观光飞行上百架次，但通用机场的缺乏限制了低空旅游等场景的进一步拓展，难以满足日益增长的低空旅游需求，无法形成大规模的低空旅游产业。

应急救援响应受限：虽然巴中早在 2018 年成功实施了四川省首例跨区域直升机救援，但通用机场的不足可能会影响应急救援的效率和覆盖范围，限制了低空经济在应急救援领域的应用。

农林作业植保受限：通用机场的缺乏可能导致农林植保等作业的开展不够便捷和高效，无法充分发挥低空经济在农林领域的优势。

远距低空飞行受限：巴中需要建立辐射川北甚至陕南的低空经济走廊，需要规划大批远距离低空远距航线，这就意味着需要建设能够对远距飞行器提供高频次起降以及日常维保的通用机场。

四、巴中地理位置位于成渝双城经济区北部边缘。

巴中地处四川东北部，其地理坐标特征是：巴中距成都 300 公里（直线距离），距重庆 280 公里，处于成渝双城经济圈辐射半径的末梢区域（成渝 1 小时经济圈核心半径约 150 公里）

巴中是连接成渝地区与陕西、甘肃等地的重要通道。对于成渝双城经济区来说巴中位于经济区北部边缘，而非成渝经济区的连线中枢位置，如图 1 所示。巴中的这种“边缘性”属性带来的负面影响是：

产业辐射弱：产业承接滞后难以承接电子信息等高端制造业，成渝电子信息、汽车制造等核心产业链配套多布局在 1 小时经济圈（如绵阳、宜宾），巴中 2023 年规上工业增加值仅增长 1.5%（低于全省 6.1%）。

物流成本高：山区运输成本比平原高 40%，居企业调研显示巴中地区物流成本占比达 18%（成都平均 7%），制约高端制造业落地。

人口外流较严重：2023 年常住人口城镇化率仅 45.1%，人才吸引力不足高端岗位稀缺，2023 年引进硕士以上人才仅 642 人，35%流向成渝。



图 2-1

综上所述，巴中在低空经济领域面临专业飞手数量不足、高端技术研发人才稀缺以及运营管理类人才缺口明显的问题，而这些问题的根源在于巴中整体工业产业基础薄弱，导致人才吸引力不足和薪资竞争力弱。同时，巴中的低空航空器研发、制造产业链不完善，入驻的相关企业数量稀少，尤其是缺乏掌握核心科技的企业，这同样受到地域和经济结构的限制。巴中位于成渝双城经济区北部边缘，处于成渝 1 小时经济圈核心半径之外，难以有效承接高端制造业辐射，导致产业辐射弱、物流成本高和人口外流严重等问题。以上问题对巴中在低空经济领域的发展构成了较大挑战。

第3章 巴中低空经济发展策略建议

完成对巴中市发展低空经济优劣势的分析后，接下来我们针对这些优劣势对巴中低空经济的发展策略进行思考和建议。在前文分析了巴中发展低空经济的优劣势，所以在巴中低空经济发展策略上可以概括为“轻研发，重应用”的思路，“**轻研发**”不是不进行低空飞行器研发与制造，而是不和已经占据研发高地的城市 PK，这种 PK 是没有太大意义的，“**重应用**”是指依托巴中地区的地理位置以及自身对低空经济技术的刚需或潜在刚需进行应用场景的拓展，简单来说就是努力把低空经济技术用起来！

3.1 立法保障

立法保障是推动巴中低空经济发展的关键举措。通过立法，可以为低空经济提供明确的法律框架，确保相关活动在法律范围内有序进行，保障飞行安全，规范市场秩序。立法能够有效整合资源，促进产业协同，吸引投资和人才，为低空经济的可持续发展奠定坚实基础。同时，立法有助于优化空域资源配置，简化审批流程，提高行政效率，增强市场主体的信心，激发市场活力，从而推动巴中低空经济快速、健康、可持续发展。

目前巴中已经颁布了《低空经济发展实施方案》（2024 年 10 月），《方案》在巴中低空经济的总体发展思路、产业培育举措、基础设施建设规划、应用场景拓展、保障措施五大方面进行了规划，是巴中市发展低空经济第一步也是非常重要的一部政策性法令，《方案》的出台是推动全市低空经济高质量发展的重要举措，通过明确发展目标、路径和措施，为低空经济产业的发展提供了清晰的指引和有力的政策支持，助力巴中打造成为成渝地区双城经济圈低空经济协同发展的重要节点城市。

虽然巴中市已经出台《低空经济发展实施方案》，但仍需基于《方案》制定专项规范、条例以系统性促进低空经济产业发展，原因主要为：

一、现有政策局限：法规缺位制约发展深度

当前仅仅依赖《低空经济发展实施方案》等行政文件，缺乏法律强制力与稳定性，企业长期投资信心不足。例如，低空经济产业园建设、南江通用机场等项目

仅通过政府文件部署，未形成法定权责框架。对比深圳：全国首部《低空经济产业促进条例》明确空域开放、适航奖励等细则，而巴中尚无类似法规支撑。

关键领域规则模糊，作为四川省低空经济协同发展地，要求“能飞尽飞”，但未规定军民航协调程序、低空走廊划设标准，实际开放空域不足 15%，人机物流、载人飞行等场景的事故归责、保险机制未明确，企业运营风险高。

二、颁布专项法规的核心必要性

破解空域管理瓶颈，激活飞行活动。通过立法划定“文旅观光区”“物流通道”（如光雾山—诺水河航线），简化 300 米以下飞行审批流程，复制深圳“75%空域开放”目标。规定跨省市空域数据共享、应急联动规则，推动“北川—达州—重庆”航线常态化。

强化基础设施与要素保障。比如加强用地与资金刚性约束，强制要求县区预留垂直起降点建设用地（当前 30 个规划点无土地保障机制）；设立低空经济专项基金，明确企业适航认证补贴（如参照深圳 1500 万元/型号）。强制推进 5G-A 基站建设，解决巴中市以及其他重要区域实现通感一体功能的实现，为无人机在城市重要区域的定位导航，监测控制提供基础保障。

构建安全监管体系，防控风险。制定适航认证地方标准，比如制定《山地无人机抗风切变规范》，强制企业测试符合秦巴地形要求（纵横无人机已在巴中验证）。加强“黑飞”联防机制，依托“智慧巴中”低空数字系统（150 套值守节点），法定接入公安、应急平台，实现秒级响应。

为巴中市陆续制定促进低空经济发展的专项法规，需立足其“革命老区+秦巴山区”的双重特质，以“破解瓶颈、激活场景、构建生态”为核心目标，结合省级政策框架与本地实践，构建系统化、差异化的法规体系。立法思路以及核心框架如图 3-1。

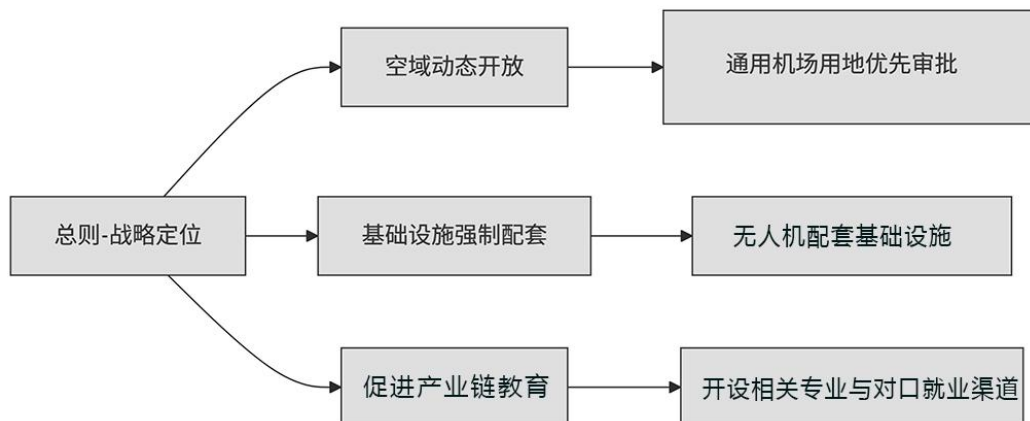


图 3-1

以下是基于以上立法框架的具体内容举例：

一、针对空域管理改革立法：破解“飞不起来”的根源问题

比如该法规应当划定“三区三通道”法定空域：

文旅观光区（光雾山、诺水河，300 米以下 15 分钟可飞）。

物流走廊（平昌肉牛基地→成都，高度≤500 米，6 小时可飞）。

应急通道（南江—通江地质灾害带，0.5 小时可飞）。

法定 跨区域空域数据共享 义务，推动“北川—达州—重庆”航线常态化以及成渝空域协同机制，明确军民航协调程序。

二、针对基础设施配套立法：扭转“基建滞后”短板

比如颁布“低空经济用地保障条款”：强制县区预留 0.5%建设用地 用于起降点（2025 年建成 30 个），南江通用机场周边 500 亩 工业用地定向供应（地价 60%）。

推行“通信网络覆盖条款”：要求 2027 年前在巴中市及重其他要区域消除 5G-A 信号盲区。

利用法规资金长效投入机制，比如规定设立市级低空经济基金（规模 5 亿元），其中 30% 投向制造环节；整机制造企业按投入 30%补助（上限 2000 万元），运营企业单架次补贴 200 元。

三、针对促进产业链培训教育，聚焦“山地技术标准”高地。

通过法规设立技术认证壁垒：进入巴中市场的无人机强制通过山地适航测试（北川基地+数字孪生秦巴模块），未达标者禁入农林、应急场景。

通过法规建立“以链招商”激励：比如整机制造企业：5年所得税全免；本地配套率>50%的企业：奖励采购额10%（上限500万元）。

建立人才飞地机制法规：如规定在深圳、成都设“科创飞地”，引进巴中人才享编制池+安家费（博士40万元）；本地职校开设低空经济相关专业，毕业生进入当地低空经济相关企业，补贴企业每人0.5万元培训费。

3.2 空域管理改革

巴中进行空域管理改革是突破地理制约、激活产业动能和抢抓战略机遇的关键举措。作为秦巴山区腹地，巴中90%为山地地形，传统交通建设成本高、效率低（农产品运输损耗率达25%，应急救援响应超40分钟），亟需通过开放低空空域构建“空中通道”，实现无人机物流网络覆盖和低空旅游航线串联，将生鲜运输时间缩短50%、旅游收入提升30%。同时，作为农业大市（农林用地占75%），改革可规模化应用农用无人机，降低植保成本60%，破解特色农产品规模化瓶颈；而四川作为全国首个低空空域改革试点省的政策红利，更要求巴中主动破除空域壁垒，避免因监管滞后错失头部企业布局与区域协同机遇（如川东北低空经济走廊建设）。改革本质是将闲置空域资源转化为经济增量——通过动态释放真高300米以下空域、建立智慧监管体系，可将空域利用率从不足15%提至60%以上，预估年经济贡献超20亿元，为革命老区振兴注入新质生产力。

一、推动空域分类管理，释放低空资源潜力

1、精细化空域划设

采用分层分类管理模式。借鉴成都淮州机场经验，将巴中空域划设为管制空域、监视空域、报告空域三类。例如，在恩阳机场周边划设管制空域保障民航运输安全；在南江、平昌通用机场覆盖区划设监视空域，支持无人机物流、农林植保等作业；在光雾山等景区划设报告空域，允许低空旅游飞行自主报备。

形成动态调整机制，根据季节、天气、飞行需求动态调整空域使用范围，如旅游旺季扩大景区报告空域，灾害应急时临时开放管制空域。

2、简化审批流程

“分级审批制度+一站式服务”：在监视空域内，将飞行计划审批时间缩短至4小时；在报告空域内，推行“飞行前半小时报备”制，通过低空飞行服务平台一键提交计划；成立巴中市低空空域协同管理委员会，整合军民航、公安、气象等部门职能，实现飞行计划“一窗受理、一网通办”。

二、构建数字化空域服务体系，提升运行效率

1、建设低空智能基础设施

建立通信导航监视（CNS）系统：部署北斗地基增强站、5G-A 通信基站、ADS-B 监视设备，实现低空空域实时三维可视化。2025 年底前完成恩阳机场、南江通用机场周边区域覆盖，逐步扩展至全市。

构建三维数字孪生空域平台：集成气象数据、地形信息、飞行轨迹，构建巴中低空空域数字孪生系统，支持飞行器全生命周期追踪与冲突预警。

2、推广无人机综合监管平台

一站式申报入口：开发“巴中低空飞行服务 App”，集成空域查询、计划申报、气象服务、应急响应等功能，实现“一机一码”身份认证。电子围栏与动态避让：在景区、机场等关键区域设置电子围栏，通过 AI 算法自动规划避让航线，减少人工干预。

三、规划低空航路网络，为拓展应用场景提前“布线”

构建“干线+支线+末端”三级航路

干线航路：连接巴中与成都、重庆、西安等周边城市，支持跨区域物流、商务飞行，如规划巴中—广元—绵阳无人机货运走廊。如图 3-2，建立从巴中向下辐射成渝经济区的干线有人/无人机航线，执行载人商务飞行任务或高价值+时效性货运飞行任务。

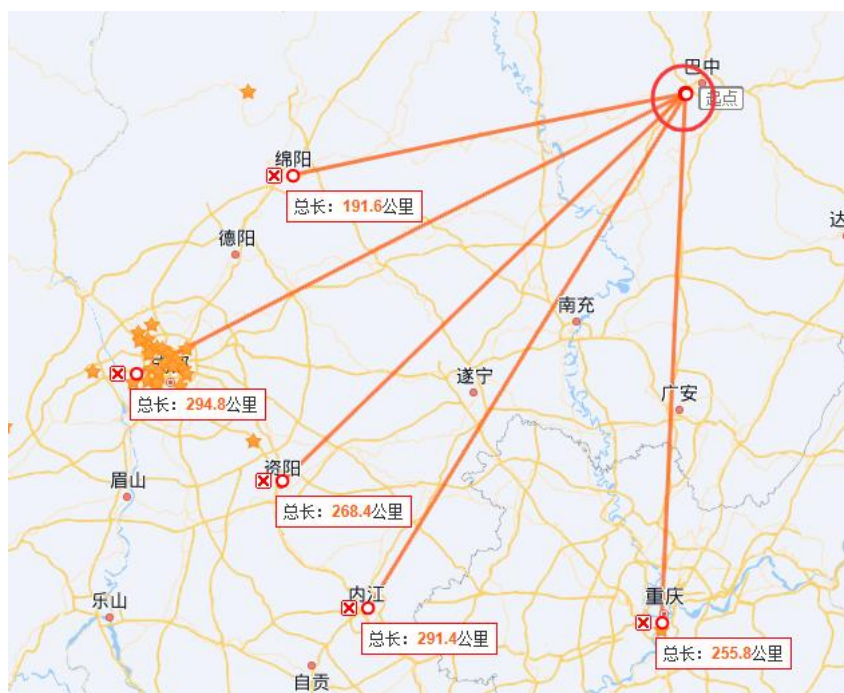


图 3-2

从上图中可以看到，巴中到成渝经济圈若干城市的直线距离均超 200 公里，这就对于飞行器航程提出了具体要求，大部分电动飞行器（如 eVTOL）无法满足这样的长距离飞行，所以执行长距离干线飞行任务的目前来看只能是传统固定翼

油动力飞机。比如派铂 M700、小鹰 700 可以执行载人长距离飞行任务；腾盾双尾蝎 D、鸿雁（HY100）属于固定翼无人货运飞机载重大航程远。

创新型氢动力飞行器优势明显：液氢能力密度高飞行器航程远、氢动力环保无污染、噪音小，当然氢动力飞行器及加氢站也有很多致命缺点导致氢动力飞行器不可能迅速普及应用，但氢动力飞行器很有可能成为低空经济未来的主力飞行器，为此我们需要对氢动力飞行器技术发展时刻保持关注。

支线航路：围绕通用机场布局，连接光雾山、天池部落等景区，发展低空旅游专线，如“巴中—南江—光雾山”观光环线。

末端航路：在乡镇、工业园区设置垂直起降点，服务农林植保、电力巡检等场景，如规划巴中经开区无人机配送网络。

四、创新运行空域服务机制

1、简化审批与协同运行，推行“负面清单+告知承诺制”，对农林作业、物流配送等常规飞行活动免审批；应急、医疗任务开通绿色通道。联合民航、军方建立“巴中低空协同运行中心”，实现空域信息共享与联合决策

2、探索商业化服务模式：引入社会资本建设共享起降坪、充电桩等基础设施，提供低空物流中转、无人机维护等公共服务，开发低空交通调度增值服务（如航线优化、气象预警），向运营企业收费反哺设施运维。

3.3 “因地制宜”开辟低空经济应用场景

巴中市立足秦巴山区地理特征与产业基础，通过“场景牵引、技术适配、产业融合”策略，因地制宜开辟低空经济技术应用场景，形成“四维驱动”发展模式。

一、**将低空经济技术用于巴中地区的农林渔牧业**，为农林渔牧业生产运输降本增效。巴中市作为秦巴山区的农业大市，地形复杂（90%为山地），传统农林牧渔业面临运输成本高、生产效率低等挑战。低空经济技术通过无人机、智慧管控平台等创新应用，可系统性解决这些问题，实现“减本增效”。巴中地区在使用无人机技术为农产品生产降本增效方面有以下经典案例：

恩阳区下八庙镇小麦高产片，无人机巡田数据实时传输至 AI 系统，结合田间物联网设备（如条锈病监测仪）生成管理方案，监测精度达 92%，每人每日可完成 3000 亩作物巡防，效率为人工 10 倍，指导精准施肥施药后水肥利用率提升 18%，亩均节本 120 元。

恩阳区金樱家庭农场对 50 亩车厘子园进行航测，使用无人机按“处方”精准喷洒肥料，每亩节约成本 30 元，效率提升 5 倍。

恩阳区中药材种植户赵和平使用无人机吊运峡谷中的药材，替代背篓人工运输，成本从 5 元/公斤降至 0.8 元/公斤。

通过以上实际案例，我们看到通过无人机技术在农业中的应用，实现了精准监测与管理、高效作业与成本控制、突破地形限制与运输优化等多方面的创新，显著提升了农业生产效率和经济效益，这些案例启发了我们对无人机技术在巴中农林牧渔业一系列应用场景的想象，比如：

1、利用无人机实施精准农业生产

大疆 T30 农用无人机（载重 30 公斤）搭载多光谱镜头，巡田生成作物长势图；AI 处方图指导变量喷洒，山区坡地精准播种。可预测其农药用量减少 30%，播种效率提高 5 倍（较人工），亩均节本大于 120 元（恩阳区实测）。

利用红外无人机夜间巡田，识别病虫害早期热信号条锈病预警准确率 92%（下八庙案例）；结合土壤墒情传感器，自动触发滴灌系统，此举可节水 20%。

2、利用无人机进行农产品山地运输

建立农产品运输“最初/最后一公里”空中走廊：在村级收集点布设纵横 JOS-C700 无人值守机库（覆盖半径 50 公里）将采摘的药材、鲜果等用大载重无人机（如腾盾 TD220，载重 200 公斤）吊运出山。此举将山地运输成本从 5 元/公斤降低至 0.8 元/公斤（赵和平案例），生鲜损耗率可降低约 90%。

3、利用无人机进行林业生态与畜牧管理

利用双光无人机（可见光+红外）扫描林区进行森林资源检测，AI 自动标记火点以及盗伐点；同时可兼顾测绘林木蓄积量支撑碳汇交易。

使用无人机群驱赶南江黄羊转场减少人力投入；利用可热成像无人机监测牲畜体温，预警疫情（如口蹄疫）。

4、利用无人机进行渔业养殖监测与鱼群投喂

用无人机搭载多光谱镜头多点航拍鱼塘，对图像进行 AI 分析，如溶氧量、鱼群密度；再使用无人机挂载投饵机对鱼群进行精准喂食。此举可节约饲料成本约 15%，提高鱼群亩产量约 10%

二、使用无人机技术解决秦巴山区乡村快递“最后一公里”投放的难题。巴中地区山区地形居多，这些分散居住在山区常住人口约 133.5 万，占巴中总人口 51.09%。而山区物流快递成本大概是平地的 2-3 倍，如果使用无人机技术进行快递投放，预估可以节约物流成本 60% - 84%。

要实现在山区进行无人机快递投放可以参考以下方案：

1、无人机机型的选择：中小型物流无人机，如方舟 150（载重 50 公斤、航程 30 公里）或大疆 T70（载重 70 公斤），适用于村级集散点至乡镇中转站的短途配送，精准定位误差≤5 厘米。

2、航线勘测与优化：除了根据山区快递接受点进行航线规划之外，还应当注意使航线避开高压线、密林等低空障碍物。这里可以参考同属秦巴山区的官渡镇实施的无人机物流案例：地处秦巴山区的官渡镇全域达 400 平方公里，两万余居民散居在群山之间。以往因山高谷深、交通闭塞，村民常需花费数小时往返镇村收取快递。如今随着方舟 150 型物流无人机投入运营，该镇最偏远的楼房沟村配送时间从陆运 2 小时缩短至空运半小时，全镇绝大部分入村快递实现“云端”直达。

3、在村级无人机起降点实现双向流通闭环：无人机配送网购包裹至村级机库，村民扫码取件（如秦巴山官渡镇 1.3 万件快递直达）；村民的打包好的农产品以及网购退货等可通过无人机起降点装机起飞出山。也可参考深圳美团无人机送外卖经验。

三、低空观光项目，巴中具有比较出名低空项目—光雾山“飞越巴山·纵览红川”直升机低空观光项目通过产品设计创新、市场成效验证、产业联动升级三大维度，为巴中低空经济树立了标杆性案例。

光雾山“飞越巴山·纵览红川”项目的单次消费大致为 580 元/人-780 元/人（580 元航线为固定区域短途观光，780 元航线为跨景区深度体验，覆盖范围更广、时长更长）此消费定价相对较高，可能会成为该项目推广普及的阻碍，若未来引入 eVTOL 飞行器甚至氢动力 eVTOL 飞行器，用以取代传统直升飞机载客，应该可以降低飞行成本 40%以上，届时“把价格打下来”后，将更容易被普通游客所接受。

崇州豪芸通用机场推出的自驾飞机项目在低空观光领域颇有成果。该通用航空飞行基地已开通 12 条观光航线，其中低空赏花航线 5 条，涵盖白塔湖、重庆路、

怀远古镇等，游客可俯瞰崇州美景，体验价 200 元 - 1700 元不等。其 200 元的最低消费对普通游客具有相当的吸引力，该基地的主力消费机型为：钻石 DA20/DA40、西锐 SR22 固定翼飞机。

3.4 补足信号盲区，加强山区航路 5G 基站及中继站的建设

无人机通信高度依赖 5G 网络，截至 2024 年，巴中市已累计建成 5G 基站超 2500 个，行政村 5G 网络通达率超 60%，巴中市各县（区）主城区、乡镇政府驻地基本实现了 5G 网络覆盖，重要园区、重点景区、重点场所实现了 5G 网络精准覆盖，2024 年四川省提前实现“村村通 5G”，巴中 2300 余个行政村全面开通 5G 网络，山区移动信号盲区基本消除，山区基站以“点状布局”为主，平均密度 8-10 个/百平方公里，但是在秦巴山峡谷、深林等偏远区域仍存在信号衰减或盲区，这会对山区无人机的稳定导航稳定飞行带来一定的风险。所以这些山区的 5G 基站、中继站建设不光只是满足村落区域通讯就够了，也要**为将来无人机在山区安全飞行提前做基础设施建设。**

在山区中进行基站和中继站建设应当遵循“地形适配、成本可控、功能分层”三大核心原则，执飞山区的无人机则需要具备通讯冗余设计。

1、地形适配原则：精准布局破解盲区。高地优先：基站选址山顶/山脊（如光雾山瞭望塔），最大化覆盖峡谷；中继站布设山谷，形成“高塔低补”立体网，比如巴中在海拔 1,200 米的皇柏林山顶建站，覆盖半径提升 40%。而对于深谷盲区甚至可以采用系留气球基站来进行搭建。

2、共享杆体降本增效：各类设施共享杆体复用，比如在路灯、监控杆搭载基站设备；开放公共设施（学校、卫生院屋顶），降低征地成本。

3、功能分层原则：按需匹配通信能力：5G 基站主要部署在高附加值区域强覆盖，如景区、物流枢纽、应急指挥中心（如光雾山游客中心）；而中继站部署在深山峡谷中以低成本保障飞行器基础通信连通。

4、无人机冗余通讯设计。执飞山区的无人机则需要具备通讯冗余设计，其通讯系统应包含：①主通道 5G 网络、②备份通道：Mesh 自组网、③托底通道：天通卫星终端。

3.5 对本地企业无人机企业进行政策扶持

巴中市目前已注册的本地无人机制造、及无人机运营服务企业主要有：巴中纵横无人机科技有限公司（成立时间：2024 年 12 月），四川猎鹰飞航电子科技有限公司（成立时间：2022 年 9 月），四川熠飞无人机科技有限责任公司（成立于 2025 年 2 月 17），为扶持巴中本地无人机企业以及鼓励更多无人机相关制造企业入驻巴中市，加速巴中本地无人机企业产品市场化进程，建议对“本地产”无人机产品入市进行推广以及“优待”。

一、政府优先采购本地产品。将本地无人机纳入政府采购目录，强制要求以下场景优先采购：农林植保（如恩阳区智慧农田巡检）、应急救援（如森林防火监测）、山区物流配送。

二、鼓励采购本地供应链零部件。对采购巴中市本地的内芯片封测、铝材加工等企业零部件的无人机厂商，按采购额 5%给予奖励。

三、链主企业带动政策。纵横股份等链主企业引进上下游配套商，每引进 1 家奖励 100 万元；配套企业三年内免收厂房租金。

四、政企协同市场拓展。组织企业参加“飞享巴中”低空经济推介会（如成都签约活动），巴中市政府承担展位费及物流费用。

3.6 鼓励全国无人机飞手进入巴中地区服务

在目前无人机的操控很大一部分是以人类飞手操控为主，特别是在一些 AI 操控难以胜任的领域，如重型货物吊装运输、无人机应急任务等。正式由于这些飞手的存在，支撑起了无人机的场景应用终端。

巴中本地持证飞手存量不足。截至 2025 年 6 月，巴中市通过 CAAC（中国民用航空局）执照考试的飞手仅 19 人（巴中纵横飞行服务有限公司培训成果），均为应急、消防等职能部门人员。飞手在训规模为 90 人，学员来自于退役士兵，培训目标是获取 CAAC 执照。按此飞手数量来计算，巴中地区的飞手需求缺口是巨大的，比如巴中规划布局的 150 套无人值守系统、通江银耳物流专线、光雾山森林防火等场景，需至少 200 名以上专职飞手支撑常态化运营。而参照全国缺口估算巴中作为山区低空应用先行区，本地需求占全省比例预计达 5%-10%（约

5000-10000 人），按 2025 年计划新增飞手 500 人以上来估算，飞手数量仍难以满足巴中快速扩张的产业需求。所以我们建议鼓励全国范围的无人机飞手进入巴中地区提供飞行服务。

一、对飞手提供专项补贴与税收优惠：

安家补贴：对签约 3 年以上的外地飞手，给予一次性安家补贴（如中级飞手 3 万元、高级飞手 5 万元）；薪资补贴：企业雇佣外地飞手，前两年按薪资 30% 给予企业补贴（上限 10 万元/人/年），降低用工成本。税收减免：飞手在巴中从事农林植保、应急救援等公益服务，个人所得税减免 50%。

二、培训与认证支持：

外地飞手在巴中考取 CAAC 中型机执照，报销 80% 培训费用（参考退役军人专班模式）；技能进阶奖励：掌握多光谱巡检、高原吊运等山区专项技能，颁发“秦巴飞手认证”，奖励 5000 元。

三、政府打造高价值应用场景：提供职业发展平台

由政府主导规模化无人机服务项目，比如规划百万亩茶园、药材基地的植保与吊运订单，打包分配给当地飞手人员。把合规的本地飞手纳入应急响应飞手库：进入市级救援体系，参与森林防火、医疗物资投送（响应 < 30 分钟，津贴 200 元/次）。

四、创建低空旅游附加值产品：

比如鼓励飞手开发景区跟拍、VR 航拍体验等产品，政府提供 50% 设备采购补贴以及对飞手作品进行无偿宣传。

五、优化生活与职业生态破除异地服务障碍：

对飞手提供人才公寓：提供 1 年免租公寓（如低空经济产业园配套社区），配偶优先安排公益性岗位。

六、建立职业荣誉与成长体系：

比如举办飞手锦标赛：依托 CADC 国际赛事平台，增设“山区吊运竞速”“精准喷洒挑战”等专项赛，冠军奖励 10 万元。开展产学研融合培养，与中飞院、四川职院共建实训基地，合规飞手可进修无人机 AI 管控、氢动力维护等课程。

七、巴中市牵头区域飞手认证互认：

推动川东北（巴中、达州、广元）飞手资质互通，允许跨市接单，扩大飞手共享服务半径。

第 4 章 低空经济关键技术研究

4.1 “全国低空一张网”项目研究以及接入“全国低空一张网”系统要求

“全国低空一张网”作为国家低空经济战略的核心基础设施，旨在通过统一技术标准、空域管理规则和运行服务体系，实现低空飞行器的安全高效协同运行。结合《低空飞行服务系统技术规范》及各省市实施方案（如重庆、山东、四川、苏州等），其管理方案与关键技术要求可系统分析如下。

一、整体管理方案：三级协同架构与全域覆盖

空域资源实施动态化管理：基于《国家空域基础分类方法》，各省市方案均将低空空域划分为管制区（G类）、报告区（R类）、自由飞行区（F类），按高度层（0-300 米物流层、300-600 米载人层、600-1000 米应急层）分时分区复用。

二、全国协同机制：通过“全国低空交通一张网”项目，统一空域数据接口与调度规则，避免区域标准冲突。这里的一个关键就是：**统一空域数据接口与调度规则**，要实现统一空域数据接口与调度规则一般会在以下技术协议层面进行统一化：

1、通信协议标准化：要求所有低空基站支持 5G-A 通感融合协议（如中国移动“通感一体”标准），实现通信、感知、计算三合一功能，确保控制时延 $\leq 20\text{ms}$ 、定位精度 ≤ 1 米⁷⁹。例如上海试点要求基站融合 TDOA（到达时间差定位）技术，解决无人机跨区飞行断链问题。

2、数据模型统一化：

身份识别格式：强制轻型无人机搭载 Remote ID 模块，统一身份编码规则（如四川九洲系统采用的民航局 UOM 平台接口）。

监视数据格式：整合 ADS-B（广播式自动相关监视）、雷达点云、光电监测等多源数据，定义统一时空基准（如千寻位置提供的北斗时空坐标系）。

空域动态信息：通过数字孪生平台（如深城交 TransPaaS）生成标准化目视航

图，动态标注禁飞区、障碍物、气象风险点。

3、平台接口开放化：飞行服务站互联：构建“1+N+X”三级平台（省级 A 类站、市级 B 类站、企业 X 类站），要求所有地方平台开放 API 接口，支持与民航局 UOM 平台双向数据同步。

跨域数据互通：采用联邦学习技术，在保护隐私前提下实现区域数据共享（如武汉监管平台与重庆 UOM 的联邦对接试点）。

要实现统一空域数据接口与调度规则不是一蹴而就能实现的，需要在试点城市进行多轮测试以验证接口标准的稳定性。估计到 2026 年 6 月，可以完成 6 大试点城市（深圳、合肥等）基建招标，发布《低空飞行服务系统技术规范》补充细则，明确通信/导航/监视接口。

三、建立统一的三级飞行服务站体系：各省方案均采用“1+N+X”架构（1 个省级 A 类站、N 个市级 B 类站、X 个通信监视基站），并与民航局 UOM 平台对接。其中：

A 类站（省级）：负责空域审批、跨区协调、应急指挥（如重庆省级站直管军地民协同）

B 类站（市级）：提供飞行计划备案、气象服务、航图发布（如苏州要求数据实时报送）

X 类基站：实现通信-监视-导航融合（山东要求“北斗+5G-A+ADS-B+甚高频”四网合一）。

“1+N+X”架构示意图如下：

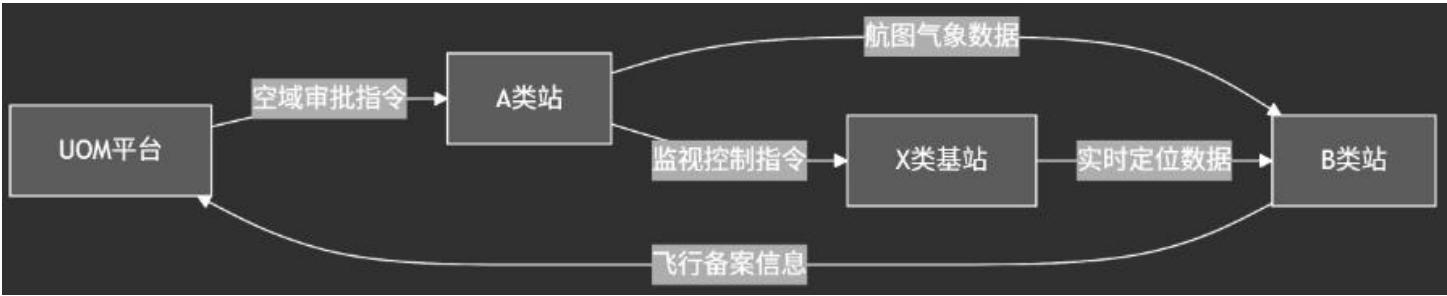


图 4-1

四、智能决策：利用数字孪生技术与 AI 技术对低空飞行器进行实时三维显示以及 AI 预判与指挥。是低空经济安全管理能高效运行的重要支撑，其功能主要表现为：

1、实时三维显示：构建动态映射的数字底座。

全域高精度建模显示：地理空间映射：基于卫星影像、激光点云、倾斜摄影等多源数据，通过 AI 驱动的三维引擎，实时显示预先存储好高程信息的地形模型，也可以加载楼宇三维模型，其精度可达厘米级，涵盖建筑、地形、禁飞区等关键要素。

实时动态数据接入：接入实时气象传感器、交通流量、无人机位置（北斗/5G-A 定位）、机载摄像头视频流等数据，每秒更新频率 $\geq 10\text{Hz}$ ，实现物理世界与虚拟空间的同步映射。

2、AI 预判与指挥：智能决策中枢。

AI 冲突飞行器预测与指挥规避：四维航迹推演：基于时空计算引擎，模拟多飞行器未来 5-30 秒的轨迹，利用强化学习算法预测碰撞风险（如航向夹角 $<15^\circ$ 且距离 <100 米触发告警），自动生成避让指令（爬升/转向）。

AI 空域容量评估：AI 动态分析空域密度（如每平方公里 ≥ 10 架告警），结合气象数据调整可用高度层，提升资源利用率 40%。AI 管理流程图如下：

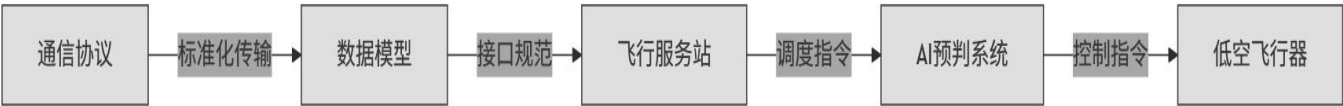


图 4-2

当然，在应急响应与调度时，人工可随时接入接替 AI 指挥。

巴中属于三级飞行服务站体系的 B 类站（市级），主要负责区域内的飞行服务保障、空域协调及场景应用落地。巴中市计划建设的“智慧巴中”低空数字综合应用系统（投资 1.2 亿元）估计初步具备 B 类站管理能力，但这并不能代表巴中已经完全符合接入“全国低空一张网”的系统要求，问题这主要表现在一下两方面：

一、“智慧巴中”低空数字综合应用系统是否存储巴中地区数字孪生底座数

据，以及是否具备 AI 预判+指挥能力？

二、巴中秦巴山区航线基础设施建设（5G 基站、中继站、ADS-B 接收端）是否满足低空飞行器不间断定位与通信需求？

以上两个问题，从已公布的新闻和官方数据来看无法得到确切答案。

4.2 山地任务无人机 AI 模型训练研究

巴中 90% 面积为山地丘陵，地形破碎且垂直高差显著，传统无人机路径规划算法（如 AI、RRT）在山地环境中易陷入局部最优，导致飞行风险增加。例如，巴中市平昌县的地质灾害预警场景中，无人机需在陡峭山体间快速识别滑坡隐患，传统模型因缺乏地形特征学习，预警时间长达 3 分钟，而结合北斗定位与 AI 算法的本地化训练后，预警时间压缩至 10 秒。因此，针对巴中地区特殊的地形地貌和任务需求，对执行秦巴山飞行任务的无人机进行专属 AI 模型训练显得尤为重。

以下是训练方案建议：

一、使用无人机**真实飞行数据投喂训练 AI 模型**，使用巴中地区真实飞行数据训练无人机 AI 模型需构建“数据闭环四步法”：采集→增强→训练→部署，针对性解决山地任务痛点。

1、数据闭环架构：示意如下图 4-3。



图 4-3

2、真实数据采集策略

采集数据类型：示意如下表 4-1.

数据类型	采集设备	巴中山地特殊要求
峡谷飞行轨迹	高精度IMU+RTK定位 (误差≤2cm)	每秒20帧记录紊流扰动姿态
电磁干扰谱	便携式频谱仪	峡谷底部/高压线塔下的GPS/图传衰减
雨雾环境感知	红外热像仪+毫米波雷达	穿透浓雾识别地形轮廓 (能见度<50m)
应急任务日志	调度系统黑匣子	山火救援中的投水精度与路径选择

表 4-1

为完成以上数据采集，需进行采集设备部署，其中包括：

无人机改装：加装 多源传感器吊舱（激光雷达+可见光+红外+毫米波雷达）、部署 边缘数据记录仪（华为 Atlas 500，支持 32TB 存储）。

传感器地面基站：峡谷部署 气象监测站（风速/湿度/雨量每秒回传）、高压线塔安装 电磁干扰监测器。

3、数据清洗与标注

数据清洗采用 自动化清洗流水线，示意图如图 4-4



图 4-4

采用智能标注方案：

障碍物的标注采用 SAM+人工校验方案，比纯人工快 8 倍；紊流事件标注采用 LSTM 自动识别姿态突变区间，其准确率为 92%；任务成败标签采用规则算反遍历（如抵达时间>阈值=失败）此项可实现 100%自动化标注。

4、数据增强与训练：这是针对巴中秦巴山区的一些极端飞行条件进行的数据增强用以模拟。这些增强项主要包括：气象扰动增强或风切变（解决峡谷强紊流）、电磁干扰增强（应对 GPS 拒止）、山区地形密林障碍增强（超低空避障特训）、可见光退化（雾气阻挡）。

二、使用**虚拟飞行数据**来投喂训练 AI 模型。

首先，为什么需要使用无人机虚拟飞行数据投喂训练 AI 模型？主要原因还是**降低飞行事故风险与数据采集成本**。

巴中山地信号覆盖不足，无人机在偏远区域易失去与云端的连接，实际飞行中若遭遇突发状况（如强风、鸟类撞击）可能导致设备损毁。尤其在电力巡检等需高频次数据采集的场景中，一旦无人机飞手操作出现纰漏，导致无人机撞向电力设施，就极有可能导致严重的电力事故，比如大面积停电。这种依靠“冒险”获得训练数据的方法可能会付出昂贵的代价，甚至导致是无法承担的后果。

虚拟飞行数据可在安全的模拟环境中生成极端天气（如雨雾、强光）、动态障碍物（如临时施工区域）等场景，避免实际飞行中的物理风险，所以在虚拟环境中训练无人机 AI 模型（或者训练人类飞手）是及其有必要的一种手段。其建议方案如下：

1、构建巴中地区（秦巴山区）数字孪生底座信息：

- ①地形高程数据，来自于卫星遥感高程数据+机载 LiDAR 地形扫描高程数据。
- ②气象模型数据，WRF 流体仿真+10 年历史数据（如果巴中气象部门有此数据）
- ③电磁环境，可来自移动/联通基站频谱实测，通过 Wireless InSite 构建信号衰减数据。
- ④山区障碍物数据，比如电力公司高压线弧垂数据。

2、将巴中地区（秦巴山区）数字孪生底座信息导入仿真软件中（如微软 AirSim、Gazebo 等无人机仿真飞行软件），构建巴中地区（如光雾山、米仓山）的三维虚拟环境（可视化），精确还原陡坡、峡谷、密林、河流等地形特征并进行气候天气模拟。

3、在仿真软件中进行任务场景设计：在仿真软件中进行任务场景设计如无人机物流任务、电力巡检任务、山地搜救、森林防火巡检任务。并记录完成这些任务场景的各类数据。

4、选择 AI 模型并数据投喂训练

无人机飞控 AI 模型是无人机能够自主飞行、完成复杂任务的核心技术之一。一下例举两种应用最广泛的无人机飞控 AI 模型供参考：

①卷积神经网络（CNN）：CNN 在无人机飞控中广泛应用于图像识别和目标检测。通过训练，CNN 能够识别地形特征、障碍物、目标等，为无人机提供准确的视觉信息。例如，在山地搜救任务中，CNN 可以识别出失踪人员的热成像信号或声音信号，帮助无人机快速定位目标。

②循环神经网络（RNN）及其变体 LSTM：RNN 和 LSTM 在处理时序数据方面表现出色，适用于无人机传感器数据的实时分析。通过 LSTM 网络，无人机可以预测设备故障（如电机过热）、分析飞行轨迹等，提高飞行的安全性和稳定性。

将采集的虚拟数据投喂给深度学习模型（如卷积神经网络 CNN、强化学习模型），训练其对山地环境的感知能力（障碍物检测、地形识别）和控制策略（轨迹规划、姿态调整）。如利用 Gazebo 的仿真闭环特性，通过“训练 - 仿真测试 - 参数调整”的迭代流程，优化模型在复杂地形中的鲁棒性。例如：若模型在虚拟测试中频繁碰撞山体，可针对性增加该场景的训练样本。

5、虚实迁移与实际飞行验证：将训练好的 AI 模型部署到真实无人机上，在巴中地区进行实地测试，对比虚拟仿真与真实飞行的性能差异。结合任务场景设计流程进行多次数据修正迭代，以获得更趋于实践应用的 AI 模型。其流程如图 4-5 所示。

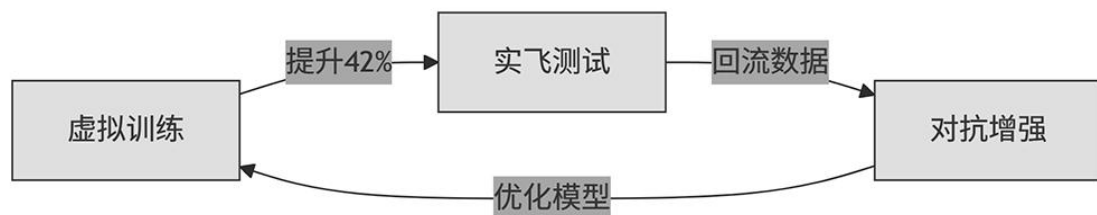


图 4-5

综上所述，无人机 AI 模型的训练流程是一个融合真实数据与虚拟数据的闭环迭代框架，旨在提升 AI 模型在巴中复杂山地环境下的适应性。特别是针对巴中秦巴山区的极端飞行条件，如峡谷强紊流、GPS 拒止等，进行数据增强，生成对抗性训练样本。

这一 AI 训练流程可能对巴中低空经济技术产生了重要影响。首先，它显著提高了无人机在复杂环境下的自主决策能力，降低了飞行事故风险，为电力巡检、山地搜救、森林防火等任务提供了更加安全可靠的解决方案。其次，通过虚实融合训练，有效降低了数据采集成本，提高了数据利用效率，加速了无人机 AI 模型的研发进程。表 4-2 示意了采用普通 AI 模型与虚拟训练 AI 模型的行动效率对比。

场景	指标	虚拟训练模型	传统模型	提升幅度
峡谷穿行(风速12m/s)	姿态角波动(°)	2.1±0.8	8.7±3.2	↓76%
暴雨巡检	距高压线误差(cm)	23±11	68±35	↓66%
GPS拒止30秒	返航脱轨率	4%	41%	↓90%
夜间浓烟火场	投水命中率	86%	49%	↑75%

表 4-2

另外，为训练 AI 模型而构建巴中地区的数字孪生底座，将卫星遥感、LiDAR 扫描、气象模型、电磁环境等数据进行了收集整理，这些工作为接入“全国低空一张网”而构建的低空智能管理系统做好数字底座数据准备，可谓一举两得。

第5章 研究总结

5.1 核心结论

本研究系统分析了巴中市发展低空经济的战略路径，提出“轻研发、重应用”的核心策略，旨在依托巴中山区地理特质与场景刚需，打造差异化竞争优势：

一、明确巴中地区低空经济发展方向：

立足“优质地空”资源（年均适飞超 300 天、空域冲突风险低），聚焦山区农林牧业、物流“最后一公里”、低空旅游三大刚需场景，避免与深圳、成都等研发高地同质化竞争。

通过立法保障（如“三区三通道”空域改革）、空域管理创新（分级分类+动态调整），破解“飞不起来”的核心瓶颈。

二、场景应用驱动低空经济发展：

继续发展低空飞行技术在农林牧渔领域的应用：无人机精准植保、山地吊运等。

继续发展低空飞行技术在低空文旅中的应用：光雾山项目单架次客单价采用 eVTOL 可降本 40%，潜力巨大。

努力开拓山区物流（快递）领域：山区配送时效提升 400%，破解秦巴山区居民“最后一公里”去快递难题。

三、技术发展建议：

构建秦巴山区专属 AI 训练体系（真实数据+虚拟仿真），提升无人机复杂地形避障与决策能力。

5.2 研究局限与未来展望

尽管本研究秉承以真实数据为基础；以科学、发展的眼光做结论的方式开展，但研究成果仍存在一些局限性。例如，由于数据的局限性，部分研究结论的普适性有待进一步验证。此外，对于低空经济关键技术的研究，仍需结合更多的实际应用场景进行深入探索。

而对于未来巴中地区低空经济研究可以从以下几个方面展开：一是进一步完善巴中低空经济的数据收集与分析，以提高研究结论的准确性和可靠性；二是加强

与其他地区的合作与交流，共同探索低空经济发展的新模式与新路径；三是加大对低空经济关键技术的研发投入，推动低空经济的创新发展。

第 6 章 参考文献

- [1]柯济. 2025 年我国低空经济市场规模将达 8591.7 亿元. 中国航空报 .2025-2-4
- [2]张鸣. 低空经济步入关键增长期 振翅高飞正当其时. 人民邮电.2025-1-5
- [3]粟新林. 成都低空经济全产业链图谱基本形成. 成都日报.2025-2-12
- [4]马琨. 车企积极布局:抢抓“低空经济”风口. 汽车纵横.2025-2-15
- [5]王庆. 低空经济发展: 新兴安全风险与敏捷治理. 人民日报.2024-12-9
- [6]韩云峰. 中低空经济前景可期法治护航助推发展. 科学学研究.2024-11-2
- [7]张芸芸. 低空经济对传统运输的影响分析. 中国航务周刊.2025-2-16
- [8]沈小琴. 向新而行 漳州低空经济“振翅高飞”. 闽南日报.2025-2-3
- [9]吕钟正. 低空经济前景广阔. 人民日报.2025-2-19
- [10]刘豪伟. 打造惠州特色低空经济产业集群. 惠州日报.2025-2-3
- [11]徐华福. 基于“三网+一平台+一条链+N 应用”的广西低空经济高质量发展策略研究. 科学研究.2024-11-2
- [12]任晓萌. 低空经济升温, 催生无人机“飞手”考证热. 青岛日报.2025-2-3